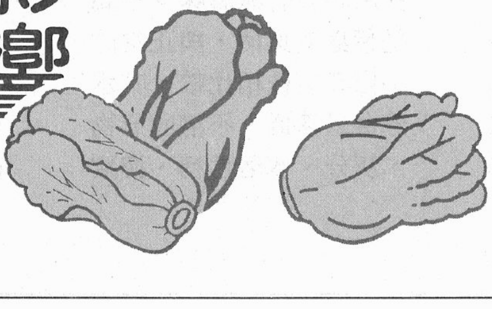
磷肥施用量對水耕小白菜品質之影響

⊙劉慧瑛、張庚鵬
農試所農化系

蔬菜栽培時養分的缺乏與過剩都會造成生理上的障害。由營養要素的缺乏或過剩所引起的蔬菜外觀病徵，國外已有相當多的研究與圖片介紹。近年來國內設施蔬菜的栽培研究逐漸受到重視，市面上產品的種類與產量也日漸增加。由於水耕的養分較土耕容易控制且不易流失，所以營養要素施用量對品質之影響也較容易瞭解。而了解肥料的正確施用量，除了可以得到良好的作物品質，提升產品的售價外，也可以經由合理施肥而減少栽培成本，防止土壤酸（劣）化及由肥料引起的環境污染。

磷是作物營養三大要素之一，目前在水耕栽培上所使用的磷酸鹽肥料有磷酸銨鹽、磷酸鈉鹽、磷酸鉀鹽等，一般使用的濃度範圍爲31～65ppm-P。飯塚隆治氏在討論蔬菜的生育障害時，將作物營養要素的含有率分爲缺乏、不足、安全、過多與過剩五區，且認爲只有在安全區才能得到最高的作物生育量，因爲養分缺乏與過



剩都是蔬菜生育障礙之因。若將水耕栽培營養液中之磷肥施用量0～160ppm對小白菜生育的影響依飯塚氏方法區分時，則0～5ppm爲缺乏、10～20ppm爲不足、20～40ppm安全、80ppm爲過多、160ppm爲過剩。

一般葉菜類磷缺乏時常由下部葉片開始出現病徵，葉色轉黑呈暗綠色，再漸次擴及全株葉片；這是因爲磷酸在作物體內會向新生長的部分移動，因此缺磷症狀首先出現於較老的組織。嚴重缺乏時，有些作物的葉色會轉變爲紫紅色。紫紅色產生的原因可能是光合作用產生的碳水化合物在缺磷酸時無法利用爲能源，導致糖分與花青素結合。根據高德錚博士之報告，水耕蔬菜缺磷時之症狀爲：全株發生，葉片（或葉緣、葉脈）常產生紫紅色，下位葉有時呈黃化，漸次凋萎而帶棕色或黑色。磷過剩發生於田間施用過量的磷肥，或水耕栽培時養分調配不當時，會使植株生育緩慢，葉片變小，葉色深綠，嚴重降低產量。施磷過量反而會降低產量。磷過剩的病徵對瓜類而言，有葉脈褐變症、葉脈間黃白化葉緣殘存綠色、小斑點症等現象。

將小白菜發芽至展開二至三葉（不含本葉）的幼苗移入循環式水耕栽培設施內，依照表一之養液配方（磷含量分別爲0、5、10、20、40、80、160ppm-P，標準爲40ppm-P）培養20天後收穫。分析植體葉身與葉柄的生育性狀、食味品質、灰分與磷等（分析結果見表二），得到結果如下：

一、完全缺乏：

水耕栽培之養液中完全沒有磷素時，蔬菜的生育停頓，幾乎完全不生長。每株平均重1克、且一株僅能生長至3～4葉；株小、乾枯、色暗綠、葉身大而葉柄小（重量比約爲4：1）。葉身汁液的糖度雖達9.6°Brix，酸度卻也高達0.58%（以檸檬酸計算），糖酸比因而較小，食用時會有酸澀味。不論是葉身或葉柄，與正常的小白菜植株相比較，其水分含量甚低，不溶固形物、灰分、水溶性糖、游離胺基酸、酸度、維生素C等成分含量甚高，分析其原因可能是沒有磷酸根的參與，許多由種子供應之代謝產物、光合作用的生合成產物與由根部養分吸收得到的成分如有機酸、游離胺基酸、糖、維生素C、礦物質等無法繼續進行生化合成及能量生成反應而蓄積於植體中，造成這些成分含量雖大而植株卻不生長的現象。完全缺磷栽培得到的小白菜不論是葉身或葉柄磷含量均低於90mg/100g（以乾重計）。

二、嚴重缺乏：

養液中磷含量爲5ppm-P時，小白菜的生長甚緩慢，葉身及葉柄有紫紅色出現。每株重約4克、葉片數爲6.2；植株高度明顯矮小（10～17cm），葉身與葉柄重量比約爲2：1。葉身與葉柄的糖度、酸度雖較磷完全缺乏之植體爲低，但與施磷正常之葉片相比仍然偏高，糖酸比也較低。其它如水分、不溶固形物、灰分、水溶性糖、游離基酸、維生素C等成分含量均介於磷完全缺乏與不足之間。

由此可見，有少量磷酸鹽存在下，部份養分能繼續進行生化反應而供植體生長，不過由於磷的供應量嚴重不足，因此植體的生長十分遲緩；此外，仍有不少的成分如有機酸、游離胺基酸、糖、維生素C、礦物質蓄積體內。葉身與葉柄之磷含量仍低於100mg/100g（以乾重計），與完全缺磷之情形相似，可見磷缺乏之嚴重。

三、不足：

施磷量為10ppm-P時，每株約重12～13克、葉片數為7葉；植株高度15～24cm，葉身與葉柄重量比約為55：45。由外觀色澤上不易看出明顯的生育障礙，不過由蔬菜的重量、株高、葉片數之增加情形比不上安全施磷量之蔬菜生長來看，10ppm-P似是不足小白菜生長所需。葉身與葉柄的糖度較低、酸度明顯降低。其它如水分、游離胺基酸、水溶性糖、不溶固形物、維他命C等均較5ppm-P時低而比20ppm-P時略高，顯示這些成分已隨著磷供應增加而被利用於植株生長所需、蓄積量因而減少。此時之葉身與葉柄之磷含量分別為334mg/100g與168mg/100g以乾重計算），雖然較嚴重缺磷者高出很多，但比正常小白菜之磷含量仍偏低，由此可以判斷磷肥不足。

四、安全：

施磷量為20ppm-P時，每株重約15.6克、葉片數7.8葉；株高17～24cm。葉身與葉柄重量比為53：47，糖度、酸度、維他命C、游離胺基酸、水溶性醣、不溶固形物含量均最低、水份含量最高、糖酸比也較大。換句話說此時的小白菜，植株中的營養成分如：游離胺基酸、水溶性糖、有機酸、維他命C、不溶固形物（多醣體、蛋白質、油脂等）因配合磷量的增加，供應生長所需而致含量減少。不過由於此時的葉片富含水分，且葉柄所佔比率最大、肥厚多汁、纖維性成分（不溶固形物中主要成分）較少，食味品質最佳。此時葉身與葉柄的磷含量分別為410mg/100g與341mg/100g（以乾重計算）。若以小白菜的正常生育量及部份營養成分含量來比較，施磷20ppm-P似乎略微不足。

磷肥增加為40ppm-P時，株重約27.8克、葉片數8.0葉；株高21～24cm。葉身與葉柄重量比為54：46，糖度、酸度、維他命C、游離胺基酸、水溶性醣、不溶固形物、水分含量與20ppm-P相近，或略低或略高。糖酸比則略低。此時的小白菜其食味品質可以說與20ppm-P相近。其中的營養成分如：水溶性糖、游離胺基酸、有機酸、不溶固形物（多醣體、蛋白質、油脂等）較20ppm-P略增，可能是這些生化代謝產物除供應生長所需外，尚有剩餘，因而在植體內蓄積。可見在此情況下磷肥施用量應足夠生長所需。分析此時小白菜之葉身與葉柄的磷含量分別為637mg/100g與573mg/100g（以乾重計算）。

五、過多：

磷肥施用過多並沒有生育障害症狀可見，不過小白菜的生育量不增反減。施用磷肥80ppm-P時，每株約重20克、葉片數9.3葉；植株高度22～24cm

。葉身與葉柄重量比爲54：46，由此可見施磷增加產量反而減少，葉片的生長偏向葉身而非葉柄。又，由葉片數與植株高度可以看出多施磷肥可增加葉片數，且植株生長高度較均一。葉身與葉柄之糖度、酸度、維他命C、游離胺基酸、水溶性醣、不溶固形物含量有較40ppm-P略增的現象，雖然此時的小白菜食味品質可以說與40ppm-P仍相近。但顯然其中的部份營養成分如：水溶性糖、游離胺基酸、有機酸、維他命C、不溶固形物等（多醣體、蛋白質、油脂等）已較40ppm-P增加。此時菜葉葉身與葉柄的磷含量分別爲650mg/100g與694mg/100g（以乾重計算），與40ppm-P之菜葉磷含量相比葉身部份未見明顯增加，而葉柄增加雖多，但也不與施用量成正比。由此可知在此施肥條件下，磷肥施用量已超過生長所需，多施無益。

六、過剩：

施磷量爲160ppm-P時，平均每株約重6.5克、葉片數爲7.1葉；株高11.5～15.5cm，葉色深且株小，產量顯著減少，可見磷過剩對小白菜栽培有嚴重傷害。菜葉葉身與葉柄重量比爲68：32。葉片的生長更偏向葉身部位，葉柄漸小，葉片數也減少。與嚴重缺磷植株之不同處爲磷過剩並無紫紅色出現。在化學成分分析上葉身與葉柄之糖度、酸度、B游離胺基酸、維他命C、水溶性、不溶固形物、礦物質含量增加，類似嚴重缺磷時之植株成分。可見其食味品質顯然低下。而其中的部份營養成份已因磷酸的毒害而無法被利用生長。分析葉身與葉柄的磷含量則分別760mg/100g與728mg/100g（以乾重計算），與80ppm-P之葉片磷含量相比似未能依施磷量之大幅增加而呈顯著增加。由此可知在此施肥條件下，磷肥施用量已到達阻礙生長的濃度，不但無益反而有害。

磷肥施用無論過與不足都會減少小白菜生育量。嚴重缺磷時因植株矮小有紫紅色出現而易被發覺，施用過剩則除了植株矮小外並無明顯病徵，較難引起注意，因而施用過量的情形較容易發生。事實上施磷過量除了產量減少、產品品質不佳外，更增加磷肥成本及製造環境污染機會，可說百害而無一利，值得加以重視。

表一：標準水耕培養液配方

巨量元素	濃度(mmole/L)	微量元素	濃度(μmole/L)
NO_3	19	Fe	40
H_2PO_4	1.3	Mn	5
SO_4	1.125	Zn	4
NH_4	1.25	B	30
K	11	Cu	0.75
Ca	4.5	Mo	0.5
Mg	1.0		
Si	0.5		

表二：不同施磷量之小白菜其生育性狀與品質之比較

調查項目與單位 \ 磷肥量(ppm-P)			0	5	10	20	40	80	160
單株重		g/株	0.54	4.49	12.72	15.62	27.78	19.85	6.55
單株葉數		葉/株	3.2	6.2	7.0	7.8	8.0	9.3	7.1
株高		cm	4.5～9.5	10～17	14.5～24	16.5～24	21～24	22～24	11.5～15.5
葉身	部位重量比	%	77.4	66.8	55.3	53.0	53.7	54.2	67.7
	水分	%	82.63	82.31	87.95	90.42	89.09	89.90	86.68
	灰分	%	2.11	1.73	1.22	1.59	1.35	1.29	1.84
	糖度	°Brix	9.6	7.6	5.8	4.2	5.0	5.6	6.8
	酸度	%	0.58	0.36	0.19	0.19	0.23	0.24	0.37
	糖酸比		16.6	21.1	30.5	22.1	21.7	23.3	18.4
	游離胺基酸	%	0.35	0.20	0.14	0.14	0.12	0.13	0.19
	水溶性糖	%	3.77	4.57	2.96	1.58	2.32	3.07	3.15
	不溶固形物	%	9.08	8.58	6.21	4.96	5.05	5.37	6.98
	維他命c	mg%	105	105	66.7	51.6	51.3	63.2	59.4
	磷（以乾重計）	mg%	78	94	334	410	637	650	760
葉柄	部位重量比	%	22.6	33.2	44.7	47.0	46.3	45.8	32.3
	水分	%	86.79	91.01	93.89	94.98	94.35	94.34	92.95
	灰分	%	2.27	1.63	1.28	1.24	1.30	1.11	1.89
	糖度	°Brix		5.2	3.8	2.4	3.0	3.2	3.6
	酸度	%	0.47	0.17	0.07	0.05	0.09	0.10	0.14
	糖酸比			30.6	54.3	48.0	33.3	32.0	25.7
	游離胺基酸	%	1.11	0.29	0.10	0.06	0.09	0.08	0.10
	水溶性糖	%	2.28	1.97	1.68	0.86	0.96	1.07	1.52
	不溶固形物	%	6.99	4.31	2.52	2.07	2.31	2.36	3.08
	維他命c	mg%	78.7	71.6	32.9	26.3	31.6	36.3	48.9
	磷	mg%	87	62	168	341	573	694	728